

ВЛИЯНИЕ КВАЗИДВУХЛЕТНИХ КОЛЕБАНИЙ НА УСЛОВИЯ РАСПРОСТРАНЕНИЯ СТАЦИОНАРНЫХ ПЛАНЕТАРНЫХ ВОЛН

О. Лейте, А.И. Погорельцев

INFLUENCE OF QUASI-BIENNIAL OSCILLATIONS ON PROPAGATION OF STATIONARY PLANETARY WAVES

O. Leite, A.I. Pogoreltsev

Исследуется влияние квазидвухлетних колебаний (КДК) на распространение стационарных планетарных волн (СПВ) из тропосферы в стратосферу и дается оценка различий в ускорениях среднего потока под действием СПВ при различных фазах КДК. Для расчета распространения СПВ с волновыми числами $m=1$ и $m=2$ (СПВ1 и СПВ2) используется линейная модель структуры СПВ. Климатические (осредненные за 2002–2012 гг.) значения амплитуд и фаз СПВ1 и СПВ2 в январе используются как нижние граничные условия. При моделировании структуры СПВ задавались фоновые значения среднего зонального ветра для восточной и западной фаз КДК, рассчитанные с помощью эмпирических моделей UK Met Office и HWM07. Полученные результаты показывают, что имеется существенное влияние КДК на условия распространения СПВ из тропосферы в стратосферу. Ускорения среднего потока в высоких широтах сильнее при восточной фазе КДК.

The influence of the quasi-biennial oscillations (QBO) on propagation conditions of stationary planetary waves (SPW) from the troposphere into the stratosphere is investigated. Difference in the accelerations of the zonal mean flow by the SPW under different phases of the QBO is estimated. The linearized model of the SPW structure is used to calculate the propagation of the SPW with zonal wave numbers $m=1$ and $m=2$ (SPW1 and SPW2). The climatic (averaged over 2002–2012 years) SPW1 and SPW2 amplitudes and phases in January are used as the lower boundary conditions. To simulate the SPW structure the background zonal mean wind under easterly QBO and westerly QBO phases calculated using the UK Met Office and HWM07 empirical models has been used. The results obtained show that there is a substantial influence of the QBO on the SPW propagation conditions from the troposphere into the stratosphere. It is shown that accelerations of the mean flow at the higher-middle latitudes are stronger under the easterly QBO phase.

Введение

Основными процессами, ответственными за динамическое взаимодействие различных атмосферных слоев, являются распространяющиеся по вертикали атмосферные волны, которые осуществляют перенос энергии и импульса. Волны глобального масштаба могут быть вынужденными (например, стационарные планетарные волны – СПВ, солнечные приливы, генерируемые суточными вариациями нагрева) и свободными, возбуждаемые в нижней атмосфере различными хаотическими движениями, которые усиливаются в результате резонансного отклика атмосферы на определенных частотах, так называемые собственные колебания атмосферы. Взаимодействуя со средним потоком, СПВ с одной стороны приводят к торможению (иногда даже обращению) стратосферного струйного течения зимой, но, в свою очередь, условия их распространения зависят от распределения среднего потока. В результате возникают так называемые стратосферные васцилляции, т. е. нерегулярные колебания амплитуд СПВ и интенсивности среднего потока. Квазидвухлетние колебания (КДК) зонального потока, наблюдаемые в низкоширотной стратосфере, могут оказывать влияние на условия распространения СПВ из тропосферы в стратосферу и, в дальнейшем, на интенсивность нелинейного взаимодействия этих волн со средним потоком в стратосфере.

Для оценки влияния КДК и среднего потока на условия распространения СПВ необходимо прибегнуть к численному моделированию распространения СПВ с зональными числами $m=1$ и $m=2$ (СПВ1 и СПВ2, соответственно) при задании

распределений среднего потока, характерных для различных фаз КДК. Выполнение поставленной задачи позволит также оценить различия в ускорениях, создаваемых СПВ при диссипации на стратосферных высотах.

Исходные данные

Численные расчеты глобальной структуры СПВ с зональными волновыми числами $m=1$ и $m=2$ были выполнены для января месяца при различных фазах КДК, фоновый ветер для различных фаз КДК был получен по данным UK Met Office, которые доступны с 1992 года по 2012.

Из этих лет были выбраны годы, соответствующие восточной (1994, 1996, 1998, 2001, 2003, 2005, 2007, 2009, 2012) и западной (1993, 1995, 1997, 1999, 2002, 2004, 2006, 2008, 2011) фазам КДК.

Годы 1992 и 1996 были отбракованы по причине отсутствия ярко выраженной фазы КДК.

Распределение фонового зонального ветра для различных фаз КДК были получены усреднением по выбранным годам. Данные UK Met Office доступны только до высот верхней стратосферы. Для получения широтно-высотного распределения фонового среднезонального потока на всех высотах были объединены две модели фонового ветра: UK Met Office и эмпирическая модель Хедина, которая дает ветер до высот термосферы без учета КДК.

Ниже 35 км использовалась модель UK Met Office, выше 50 км – модель Хедина, в промежутке между этими высотами фоновый зональный поток «склеивался». Полученные в результате распределения для восточной и западной фазы КДК показаны на рис. 1. Можно видеть, что самое яркое несоответ-

стве между распределениями двух фаз находится на высоте от 20 и 40 км на отрезке между нулевым и тридцатым градусами с.ш.

Граничные условия

В качестве нижнего граничного условия задавались распределения амплитуды и фазы возмущения геопотенциала для зональной гармоники с зональными волновыми числами $m=1$ и $m=2$, которые были получены усреднением данных UK Met Office с 2002 по 2012 гг. по 10 годам в зависимости от фазы КДК и показаны на рис. 2.

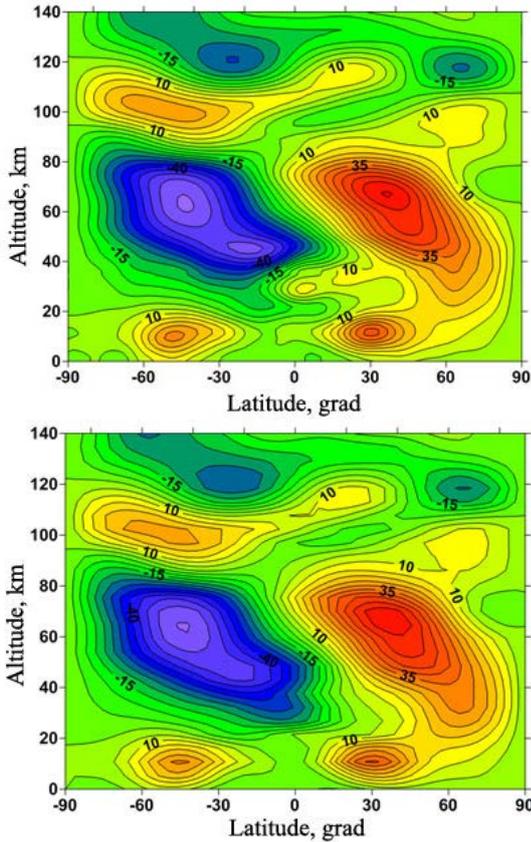


Рис. 1. Широтно-высотное распределение фонового среднезонального потока для января восточной фазы КДК (вверху) и западной фазы КДК (внизу). Объединенная модель Хедина и UK Met Office.

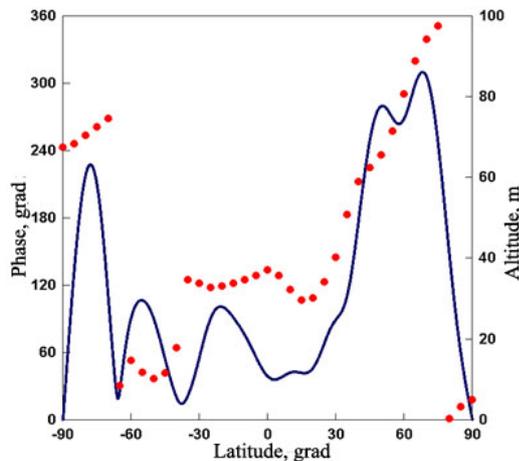


Рис. 2. Амплитуда (сплошная линия) и фаза (положение гребня, точки) для волнового числа $m=1$ на нижней границе.

На верхней границе $z=140$ км возмущение геопотенциала полагалось равным нулю. Такое верхнее граничное условие ведет к отражению СПВ, однако влияние этого отражения становится пренебрежимо малым уже на небольшом удалении от верхней границы. Чтобы исключить влияние верхнего граничного условия на интересующее нас решение, результаты расчетов обсуждались только до высоты 100 км.

Метод расчета [Pogoreltsev, 1999]

После задания исходных данных и граничных условий,

- программа, используя условия регулярности решения на полюсах, рассчитывает от полюсов к экватору коэффициенты прогонки;
- затем, исходя из того, что в точки экватора не должно быть разрыва между значениями, находит значения возмущений геопотенциала и функции тока на экваторе;
- после чего, от экватора к полюсам находят значения возмущений геопотенциала и функции тока во всех точках сетки.
- в завершении, по полученным значениям возмущений геопотенциала и функции тока, рассчитываются возмущения компонент скорости, и температуры.

Результаты расчетов

В результате расчетов были получены:

- широтно-высотная структура СПВ1 и СПВ2 для условий западной и восточной фаз КДК;
- распределения ускорений, создаваемых этими волнами в стратосфере и мезосфере.

Полученные результаты показали, что амплитуды СПВ, как видно из рис. 3, при различных фазах КДК несколько различаются. Различие в структуре возмущения геопотенциальной высоты для СПВ1 при восточной и западной фазах КДК наблюдается в положении максимальной изолинии и амплитуда больше для восточной фазы КДК.

В структуре возмущения меридиональной скорости ветра для СПВ1 при восточной и западной фазах КДК, показанной на рис. 4, различие наблюдается в высоких широтах (75–90° N) на высоте примерно 40 км, где значения при восточной фазе немного больше.

Сравнения структуры возмущения зональной скорости ветра для СПВ1 при восточной и западной фазах КДК показывает другую картину. Как можно видеть из рис. 5, более высокие значения возмущения зональной скорости наблюдаются при западной фазе КДК на высоте от 40 до 50 км на отрезке от 30 до 60° N

Несмотря на то, что амплитуды СПВ1 при различных фазах КДК различаются незначительно, наблюдаются существенные различия в величине ускорений, создаваемых этими волнами. Значения ускорений (торможений) среднезонального потока, показанные на рис. 6, при восточной фазе КДК намного превосходят значения ускорений при западной фазе КДК в средних и высоких широтах.

Расчет структуры СПВ и распределения ускорения среднезонального потока был так же проведен для значения волнового числа $m=2$ при восточной и западной фазах КДК. Результаты расчетов оказались аналогичными СПВ1.

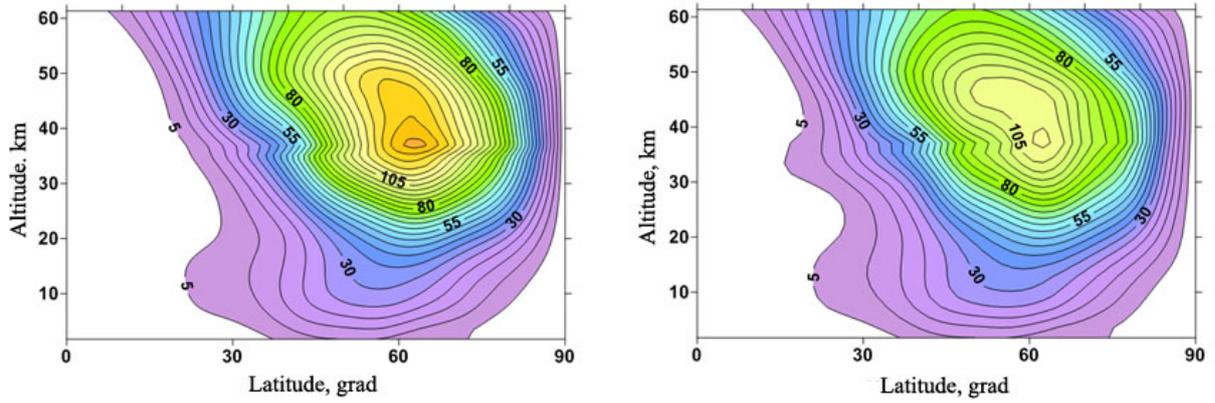


Рис. 3. Структура амплитуды возмущения геопотенциальной высоты для СПВ с $m=1$ при восточной фазе КДК (слева) и западной фазе КДК (справа).

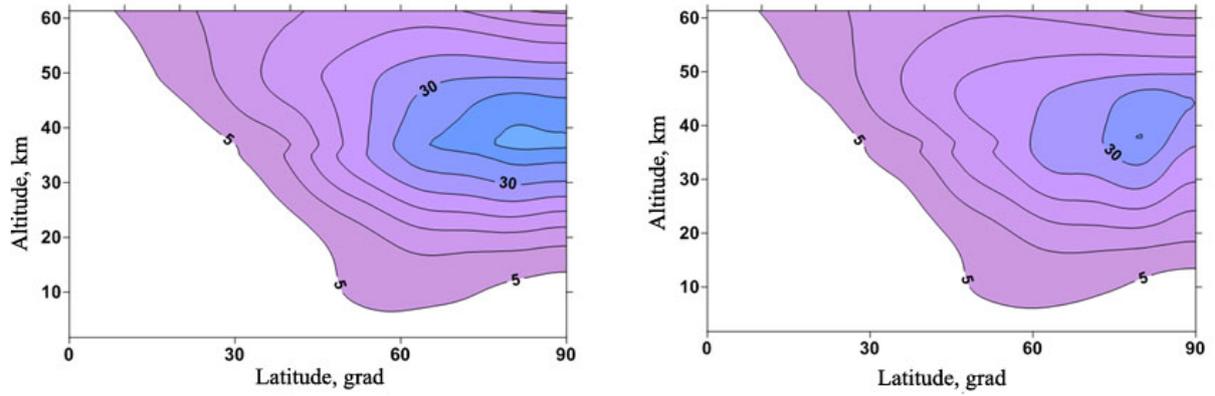


Рис. 4. Структура возмущения меридиональной скорости ветра для СПВ с волновым числом $m=1$ при восточной (слева) и западной (справа) фазах КДК.

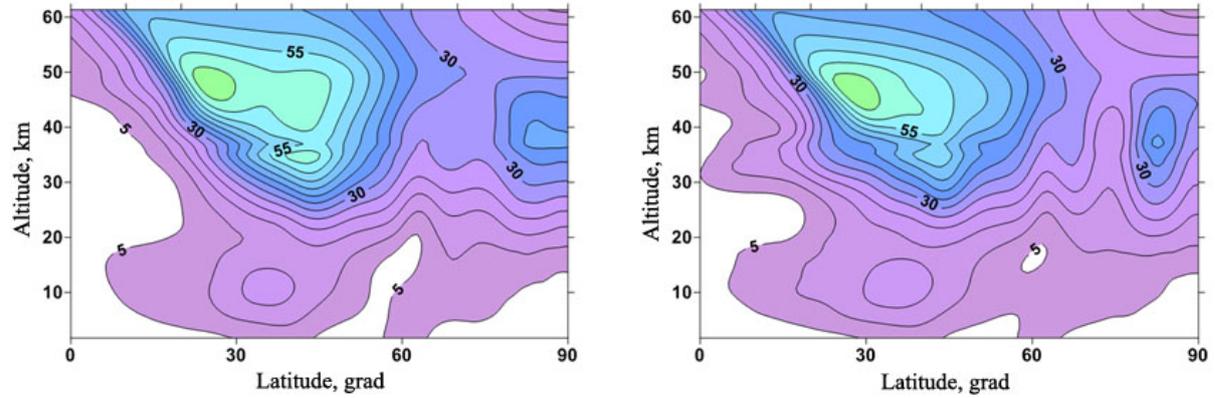


Рис. 5. Структура возмущения зональной скорости ветра для СПВ с волновым числом $m=1$ при восточной (слева) и западной (справа) фазах КДК.

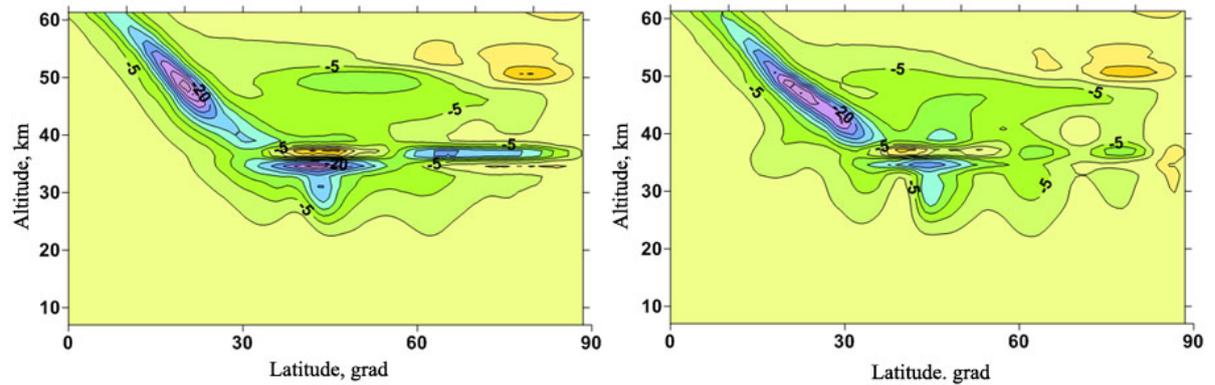


Рис. 6. Рассчитанные распределения ускорения среднезонального потока, интервал между изолиниями $1 \text{ мс}^{-1}/\text{сут}$ для восточной (слева) и западной (справа) фаз КДК.

Заключение

Итак, можно сделать вывод, что в стратосфере отрицательные ускорения, т. е. торможение среднего потока сильнее при восточной фазе КДК. Объяснить этот факт можно следующим образом – при восточной фазе КДК зональный поток над экватором направлен на запад, т. е. отрицательный. В этом случае условия распространения СПВ хуже, чем при западной фазе КДК. В результате СПВ испытывают рефракцию к высоким широтам и наблюдается существенное торможение среднего потока на средних и высоких широтах. Таким образом, можно сделать вывод о том, что нелинейное взаимодействие СПВ со средним потоком в средних широтах сильнее при восточной фазе КДК, что согласуется с результатами,

полученным при анализе данных UK Met Office. В результате мы можем ожидать, что при восточной фазе КДК внезапные стратосферные потепления будут интенсивнее и/или наблюдаться чаще.

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (грант 14-17-00685).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Pogoreltsev A.I. Simulation of planetary waves and their influence on the zonally averaged circulation in the middle atmosphere // *Earth, Planets and Space*. 1999. V. 51, N 7/8. P. 773–784.

Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург, Россия